

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт горного дела, геологии и геотехнологий
институт
Горные машины и комплексы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.В.Гилев
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2018 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

код и наименование специализации

Экспериментальные исследования нагрузочных режимов колес

тема

локомотива в разных условиях.

Руководитель

подпись, дата

Ю. А. Плютов
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

А. Н. Иванов
инициалы, фамилия

Консультанты:

Экономическая часть

подпись, дата

А. Д. Бурменко
инициалы, фамилия

Безопасность

жизнедеятельности

подпись, дата

Н. М. Капличенко
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

Ю. А. Плютов
инициалы, фамилия

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

институт

Горные машины и комплексы

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.В.Гилев

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2017 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломной работы.

Студенту Иванову Андрею Николаевичу

фамилия, имя, отчество

Группа ГМ 12-12 Направление (специальность) 21.05.04 Горное дело,

номер

код

специализация 21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Экспериментальные исследования коэффициента сцепления колес локомотива с рельсами в различных условия движения поезда

Утверждена приказом по университету № 705/с от 23 января 2018 года

Руководитель ВКР Ю.А.Плютов, доцент, кандидат технических

инициалы, фамилия, должность, ученое звание

наук кафедры «Горные машины и комплексы»

место работы

Исходные данные для ВКР габаритные размеры установки: ширина 800 мм, длина 1300 мм, высота 1500 мм.

Перечень разделов ВКР Введение, изучение коэффициента сцепления колес с рельсами, физический смысл коэффициента сцепления, факторы влияющие на физическое сцепление приводных колес с рельсами, расчетные коэффициенты сцепления, исследовательская часть, планирование экспериментов, методика экспериментальных исследований, исследование полученных значений, безопасность жизнедеятельности, экономическая часть, заключение.

Перечень графического материала Презентация в количестве 12 слайдов

Руководитель ВКР

подпись

Ю.А.Плютов

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

А.Н.Иванов

инициалы и фамилия

« ____ » _____ 2017 г.

1. ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕС ЭЛЕКТРОВОЗА С РЕЛЬСАМИ	5
1.1. Физический смысл коэффициента сцепления.....	6
1.2. Факторы, влияющие на физическое сцепление приводных колес с рельсами	6
1.3. Расчетный коэффициент сцепления.....	10
2. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	18
2.1. Планирование экспериментов	18
2.2. Методика экспериментальных исследований.....	20
2.3. Исследование полученных значений	26
3. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	30
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	51
Приложение А	53

В течение более 30 лет в лаборатории транспортных машин кафедры Горные Машины и Комплексы института Горного Дела Геологии и Геотехнологий СФУ проводятся учебные и научные испытания, связанные с различными аспектами эксплуатации горно-транспортных машин.

В нашей дипломной работе была поставлена цель – разработать методику экспериментального исследования коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами.

Задачами дипломной работы являются:

- 1) изучение методики проведения экспериментальных исследований;
- 2) изучение коэффициента сцепления колес электровоза с рельсами;
- 3) планирование экспериментов;
- 4) составление методики экспериментальных исследований;
- 5) исследование полученных значений;
- 6) разработка рекомендаций по увеличению коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами;
- 7) построение сетевой модели выполнения работ;
- 8) расчет затрат на выполнение дипломной работы;

1. ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕС ЭЛЕКТРОВОЗА С РЕЛЬСАМИ

1.1. Физический смысл коэффициента сцепления

Прежде чем приступить к лабораторным исследованиям коэффициента сцепления, необходимо разобраться в физическом значении этого параметра, а также проанализировать факторы, которые будут влиять на разницу в полученных измерениях.

Коэффициент сцепления приводных колес локомотива с рельсами, представляет собой отношение максимально возможной в данных условиях величины суммарной силы тяги F_K макс на ободу колес (одной колесной пары или локомотива в целом), развиваемой без буксования, к вертикальной нагрузке на колеса, то есть, момент начала пробуксовки колес и будет равен максимальному коэффициенту сцепления приводных колес локомотива с рельсами при конкретно заданных условиях и при влиянии множества факторов. Определенные таким образом значения коэффициента сцепления ψ называют физическим коэффициентом сцепления.

Исходя из сказанного выше можно сделать вывод, что величина физического коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами в конкретных условиях - это случайная величина, зависящая от ряда факторов. Для этого предусмотрено понятие расчетного коэффициента сцепления колеса с рельсом, (ψ_k), значение которого определяется, исходя из результатов проведенных опытов, в условиях реальной эксплуатации.

Также, стоит отметить, что вероятность точного определение коэффициента сцепления, только-лишь инженерным расчетом, стремится к нулю, для получения более точных значений, требуется проведение лабораторных исследований. Эти результаты формируются в виде эмпирических зависимостей (формул), которые в дальнейшем используются для проведения тяговых расчетов.

1.2 Факторы, влияющие на физическое сцепление приводных колес с рельсами

Множество исследований коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами, проведенных как в России, так и за границей, обнаружили некоторые определенные закономерности, в реализации величин коэффициентов сцепления.

Величина физического коэффициента сцепления колеса с рельсом, напрямую зависит от, уровня относительного проскальзывания (или относительной скорости проскальзывания $v_{СК}/v$) колес локомотива с рельсами в точке контакта.

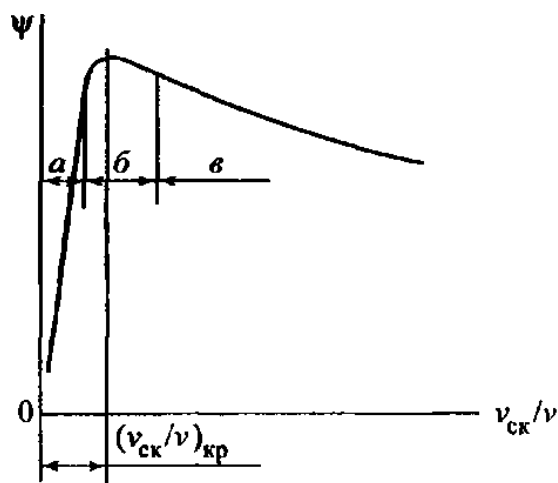


Рисунок 1 – Зависимость величины физического коэффициента сцепления ψ от скорости относительного проскальзывания колеса по рельсу ($v_{СК}/v$) 100 % [3]

Эту зависимость, наглядно показанную на рисунке 1, можно разбить на три характерных участка. На первом участке «а» - при низких значениях скорости упругого относительного проскальзывания $v_{СК}/v$ (примерно до 0,5 — 0,8 %) величина коэффициента сцепления увеличивается пропорционально величине упругих деформаций. В зоне «б» (в диапазоне скоростей относительного скольжения от 0,5 — 0,8 до 1,5 — 2 %) эта пропорциональность нарушается, хотя величина коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами все же остается высокой: она еще растет до максимума при значении $(v_{СК}/v)_{кр}$ порядка 1 — 1,2 %, затем начинает снижаться. При дальнейшем росте относительного проскальзывания величина коэффициента

сцепления колеса с рельсом, снижается (зона в на рис. 1). Это будет приводить к значительной потере сцепления — вплоть до неизбежного, интенсивного проскальзывания — буксования. [3]

Исходя из вышесказанного, следует - что для повышения тяговых характеристик локомотивов, их конструкторам необходимо находить способы контроля, за скоростью относительного проскальзывания колес, чтобы поддерживать его значение в определенных пределах и на оптимальном уровне — вблизи границ зон «а» и «б» на рисунок 1.

Такие контрольные системы, по мимо того, что защищают локомотив от возможности пробуксовки, также позволяют гарантировать надежную реализацию проектных величин силы тяги.

Такой – же эффект - снижение коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами, присутствует и при увеличении скорости поступательного движения, когда продолжительность времени взаимного молекулярного контакта частиц колес и рельсов уменьшается.

Вышеперечисленные факторы приводят к тому, что общий вид формул для определения расчетного коэффициента сцепления приобретает вид, обратной пропорциональности его величины, от скорости поступательного движения.

Величина коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами зависит от состояния поверхностей колеса и рельса, наличия окислов на этих поверхностях, явных следов коррозии и т.д.

Также стоит заметить, что после сильных дождей, хорошо очищающих поверхности рельсов, сцепление колес с рельсами, после высыхания, улучшается. И наоборот - при малозначительных осадках (небольшой дождь или снег, роса, иней) микрочастицы пыли и растительных остатков, находящиеся на поверхности рельсов, увлажняясь, образуют пленку - тонкий слой грязи, что ухудшает сцепление колес с рельсами. Стоит заметить что, подача сухого кварцевого песка в зону контакта приводного колеса с рельсом, увеличивает значение коэффициента сцепления (ψ), тем самым уменьшая

возможность проскальзывания. Это достигается за счет увеличения силы трения между двух контактирующих поверхностей.

Именно поэтому большинство современных локомотивов, не зависимо от страны производителя, имеют специальное оборудование для подсыпки песка в зону контакта колес с рельсами, а в любом железнодорожном депо, невзирая на парк оборудования, имеются емкости и оборудование для просушки и хранения песка. [3]

Взаимодействие колеса с рельсом также напрямую зависит и от состояния железнодорожной трассы, если на ней присутствуют нарушения проектной геометрической формы контактирующих поверхностей, это изменит пятно контакта, тем самым снизит коэффициент сцепления приводных колес локомотива с рельсами.

Стабильность сцепления колес и рельсов также зависит конструкции экипажа локомотива и типа его тягового привода. При групповом приводе, когда возможность буксования отдельных колесных пар исключается, величина коэффициента сцепления локомотива более стабильна. Можно отметить влияние некоторых конкретных элементов конструкции и эксплуатации:

а) так как величина суммарной силы тяги локомотива ограничена его наиболее разгруженной при движении колесной пары, фактический коэффициент сцепления колес локомотива $\psi_{\text{факт}}$ зависит от величины его сцепного веса $\eta_{\text{сц}}$.

б) изменение диаметра колес локомотива позволяет увеличить, либо уменьшить пятно контакта двух рабочих поверхностей, что в результате повлечет за собой уменьшение или увеличение коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами;

в) увеличение нагрузки на колесную пару и, как следствие, увеличение удельных давлений в зоне контакта в результате снижают величину коэффициента сцепления, так как пластические деформации в зоне контакта растут и играют роль своеобразной смазки, снижающей трение покоя;

г) при кратной тяге у второго локомотива может быть реализован более

высокий коэффициент сцепления — сказывается эффект «зачистки» поверхности рельсов при прохождении их первым локомотивом[3].

Стоит отметить, что факторы, описанные в пунктах б) и в), имеют лишь теоретическое значение, поскольку различия диаметров колес и осевых нагрузок у современных локомотивов относительно невелики, и поэтому влияние этих факторов (диаметра и нагрузки), если и проявляется на практике, то незначительно. [3]

Исходя из вышесказанного, можно сказать что физический коэффициент сцепления колеса с рельсом, зависит от трех групп факторов: от конструкции локомотива и состояния его колесных пар, от конструкции и состояния пути и от атмосферных условий.

Максимальные по величине значения коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами в конкретных условиях могут быть получены при сухих рельсах и при подаче песка. [3]

1.3. Расчетный коэффициент сцепления

Величина коэффициента сцепления колеса с рельсом,, принимаемая за расчетную - расчетный коэффициент сцепления ψ_k — имеет очень важное значение для организации работы железных дорог. От правильного выбора этого значения зависит установление весовых норм поездов и эффективность использования тяговых возможностей локомотивов, а также надежность их при эксплуатации. Поэтому, так как действительная величина физического коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами в конкретных условиях случайна, выбор ее расчетного значения связан, с одной стороны, с тем, что при завышенной величине расчетного коэффициента в реальных условиях сила сцепления может оказаться ниже расчетной. Это приведет к буксованию и преждевременному износу колес, а так же к остановки локомотива. Заниженные значения расчетного коэффициента сцепления, в свою очередь, потребуют уменьшения весовых норм и приведут к

снижению производительности локомотивов, за счет того, что не будут реализованы все параметры локомотива (Плютов Ю.А. История техники в горном деле. Москва. 2017) [3].

Очевидно, что значения коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами должны соответствовать определенным, средневзвешенным условиям эксплуатации и состоянию локомотивов. Для предотвращения вышеперечисленных ситуаций, выбор параметров локомотивов, следует проводить исходя из эксплуатационно-экономического расчета, а так же необходимо опираться на данные лабораторных исследований.

Величина расчетного коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами ψ_k , чаще всего соответствует, условиям эксплуатации локомотивов на мокрых рельсах, с подсыпкой песка в зону контакта.

Особое значение имеет оптимальный выбор расчетных значений коэффициента сцепления при электрической тяге. Так режимы движения грузовых электровозов на расчетных подъемах принимаются очень близко к ограничениям силы тяги по сцеплению. Для тепловозов эти ограничения имеют меньшее значение ввиду того, что сцепной вес, приходящийся на единицу мощности локомотива, у тепловозов с электрической передачей существенно выше, чем у электровозов, а величины силы тяги при движении на расчетных подъемах не достигают ограничений по сцеплению.

Формулы для определения величин расчетных коэффициентов сцепления приводных колес локомотива с рельсами для различных отечественных локомотивов установлены Правилами тяговых расчетов для поездной работы (ПТР). [3]

Первые опыты установления расчетных значений коэффициента относятся еще к началу XX века и, естественно, к паровой тяге.

Профессор Ю.В. Ломоносов еще в 1915 г. в своей книге «Тяговые расчеты» привел следующую формулу для расчета коэффициента сцепления паровозов:

$$\psi = \frac{\varphi_0}{1+\mu} \quad (1)$$

где φ_0 — зависит от состояния рельсов, а μ — от степени неравномерности силы тяги паровоза. Основываясь на результатах физических опытов, проведенных зарубежными специалистами еще в середине XIX века, Ю.В. Ломоносов показал широкие диапазоны изменения коэффициентов в этой формуле. Если при «совершенно сухих и абсолютно чистых рельсах» $\varphi_0 = 0,33$, то при морозе и иное $\varphi_0 = 0,17$, а при гололедице всего 0,10. Таким образом, еще в начале прошлого века было ясно, что значения сил сцепления могут различаться даже более, чем в три раза, так как значения величины $(1 + \mu)$ для различных типов паровозов отличаются друг от друга мало — на 15-20 %.[1]

Получаемые по предложенной Ю.В. Ломоносовым формуле результаты, конечно, не могли быть универсальными и годились лишь для определенных конкретных условий. При изменении состояния рельсов или атмосферных условий в то время приходилось в каждом случае оценивать тяговые возможности паровоза и обоснованность выбора веса состава. Малые размеры движения в то время еще позволяли поступать так. Но при росте интенсивности движения в послевоенное время требовался уже более универсальный и однозначный (хотя, естественно, и более условный, ориентировочный) подход к оценке тяговых способностей локомотивов. В Правилах тяговых расчетов для поездной работы (в последнем издании 1985 г. [2] так же, как и в прежних послевоенных изданиях начиная с 1956 г.) для расчетного коэффициента сцепления при паровозной тяге рекомендована универсальная (на все случаи жизни) простая формула:

$$\psi_k = \frac{30}{100+v} \quad (2)$$

где v — скорость движения в км/ч.

Из формулы 2 видно, что величина расчетного коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами, обратно пропорциональна росту скорости движения, а максимальное значение расчетного коэффициента

сцепления для паровозов при трогании локомотива с места (при $v=0$) принимается равным 0,30.

Иными словами, ограничением силы тяги по сцеплению при паровозной тяге («основной закон паровозной тяги») считалось (и считается сейчас) простое выражение — «сила тяги паровоза не может быть больше 30 % его сцепного веса».

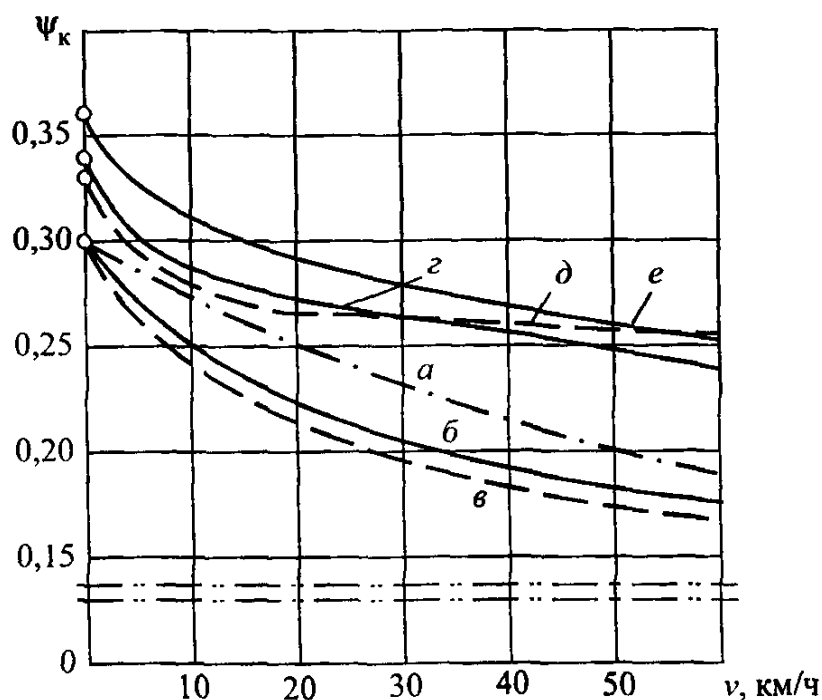


Рисунок 2 – График зависимости коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами, от скорости движения локомотива

Графики зависимости значений расчетных коэффициентов сцепления ψ_k отечественных локомотивов от скорости движения v - по правилам тяговых расчетов для поездной работы: а — для паровозов; б — для серийных тепловозов с электрической передачей (кроме ТЭ10 и 2ТЭ10Л); в — для тепловозов серий ТЭ10 и 2ТЭ10Л; г — для восьмиосных электровозов постоянного тока (ВЛ10, ВЛ11, ВЛ 10у) и двойного питания (ВЛ82 и ВЛ82м);

д — для электровозов постоянного тока серий ВЛ22м, ВЛ23 и ВЛ8; е — для электровозов переменного тока.

Для новых видов тяги, сначала электрической, а затем и для тепловозной, Правила тяговых расчетов для поездной работы издания 1985 г. (далее — ПТР) рекомендуют предложенные ВНИИЖТом более сложные эмпирические формулы типа.

$$\Psi = \alpha + \frac{b}{c + dv} \quad (3)$$

где а, b и с — постоянные, значения которых на основе экспериментальных исследований дифференцированы для различных тепловозов с электрической передачей (серии ТЭ2, ТЭ3, М62, 2М62, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М и 2ТЭ116) следующую формулу:

$$\Psi_k = 0,118 + \frac{5}{27,5 + v} \quad (4)$$

причем для тепловозов серий ТЭ10 и 2ТЭ10Л в ПТР приводится такая же по структуре формула, но с измененными значениями двух постоянных, а именно:

$$\Psi_k = 0,118 + \frac{4}{22 + v} \quad (5)$$

Причины, которые побудили составителей ПТР рекомендовать другую формулу, по сути дела, для одного и уже устаревшего к 1985 г. тепловоза серии 2ТЭ10Л, неочевидны и в ПТР не объясняются. Обе эмпирические формулы (см. графики б и в на рис. 6) имеют одну общую точку — дают одинаковую величину ($\psi_k = 0,30$) для максимальных значений коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами (при трогании тепловоза с места). Вторая формула приводит к несколько меньшим значениям коэффициента сцепления при движении тепловоза со средними (например, для скорости 50 км/ч $\psi_k = 0,174$, тогда как по первой формуле $\psi_k = 0,183$) и высокими скоростями (при скорости 100 км/ч получаются соответственно значения $\psi_k = 0,157$ и $\psi_k = 0,151$). Эти различия не принципиальны и не имеют большого практического смысла, так

как величины силы тяги, реализуемой этими тепловозами в указанном диапазоне скоростей, существенно ниже получаемых с этими значениями коэффициентов ограничений по сцеплению.

Для электровозов Правила тяговых расчетов рекомендуют значительно большее разнообразие формул, полученных на основе обобщения результатов многочисленных экспериментальных исследований и анализа опыта работы этих локомотивов в эксплуатации с поездами установленного веса. Для восьмиосных электровозов постоянного тока серий ВЛ10, ВЛ11, ВЛ10у и электровозов двойного питания серий ВЛ82 и ВЛ82М при работе на постоянном и переменном токе

$$\psi_k = 0,28 + \frac{3}{50+20v} - 0,0007v \quad (6)$$

(с максимальным значением $\psi_{\text{макс}} = 0,34$)

Для более старых шести - и восьмиосных электровозов постоянного тока серий ВЛ22М, ВЛ23 и ВЛ8

$$\psi_k = 0,25 + \frac{8}{100+20v} \quad (7)$$

($\psi_{\text{к макс}}=0,33$)

В предыдущих (до 1985 г.) изданиях ПТР эта формула рекомендовалась для всех магистральных тепловозов с электрической передачей. Для электровозов переменного тока: шестиосных — серий ВЛ60, ВЛ60Р, ВЛ60ПК и восьмиосных — серии ВЛ80 с индексами «т», «к», «р» и «с» в ПТР приведена формула

$$\psi_k = 0,28 + \frac{4}{50+6v} - 0,0006v \quad (8)$$

По этой формуле $\psi_{\text{к макс}} = 0,36$

Следует еще раз подчеркнуть, что все эти нормативные формулы для значений расчетного коэффициента сцепления субъективны, они не являются физическими законами, хотя отражают установленные опытами практические закономерности. Субъективность подхода составителей ПТР проявляется в том, что при подборе постоянных в формулах они исходили из заранее принятых исходных «круглых» значений $\psi_{\text{к макс}}$ (0,36; 0,34; 0,33 и 0,30), которые не

могут быть подкреплены различиями физики процессов, но априори ранжируют типы локомотивов по эффективности их тяги. Вообще же детерминированность значений, получаемых по приведенным формулам, условна. В действительности каждая реализация случайной величины сама по себе случайна. Величины функции случайных величин, какой является коэффициент сцепления, случайны. В силу этого они могут иметь нормальное распределение. Однако методы оценки вероятности тех или иных значений коэффициента сцепления еще не доведены до возможности практического применения. Поэтому и используются формулы, которые дают «условно средние значения».

«Правила тяговых расчетов для поездной работы» (ПТР) издания 1985 г. устанавливают, что при наличии кривых участков малого радиуса на крутых подъемах расчетные значения коэффициентов сцепления следует уменьшать пропорционально поправочному коэффициенту $K_{кр}$, зависящему от радиуса кривой R : $\psi_{кр} = \psi_k K$. Значения поправочного коэффициента определяют по формулам:

1. Для электрической тяги на кривых радиусом менее 500 м

$$K_{кр} = - \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R} \quad (9)$$

2. При тепловозной тяге — на кривых радиусом менее 800 м

$$K_{кр} = - \frac{3,5R}{400 + 3R} \quad (10)$$

Различия формул для поправочного коэффициента и величин предельных радиусов кривых в ПТР, к сожалению, не мотивированы.

Отметим, что применяемые на железных дорогах других стран нормативы максимальных величин расчетных коэффициентов сцепления так же довольно разнообразны. Например, на железных дорогах Франции величину ψ_k макс принимают равной 0,330 для электровозов переменного тока, 0,250 — для электровозов постоянного тока и 0,285 — для тепловозов и паровозов. В Японии для электровозов принимают ψ_k макс = 0,326 при переменном токе и

0,265 — при постоянном. На железных дорогах ФРГ нормативными значениями $\psi_{\text{кмакс}}$ считаются величины 0,330 — при электрической тяге; 0,300 — при тепловозной и 0,200 — при паровозной тяге.

Разброс этих значений, принимаемых на железных дорогах стран, имеющих примерно одинаковую оснащенность и ширину рельсовой колеи, лишний раз показывает определенную субъективность и различные приоритеты в технико-экономическом обосновании приведенных нормативов.

Следует также заметить, что за рубежом значения расчетных коэффициентов, как правило, относятся к сухим рельсам и без применения песка.

2. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Планирование экспериментов

Измерения будут производиться в условиях лабораторной транспортной машины, для наибольшей частоты экспериментов необходимо соблюдать ряд факторов, а именно - температуру в помещении от $+18^{\circ}\text{C}$ до $+24^{\circ}\text{C}$ и относительную влажность воздуха, не более 70%. Именно это позволит добиться наиболее достоверных результатов.

Верхние и нижние пределы изменений регистрируемых параметров показаны на рисунках 3,4,5.

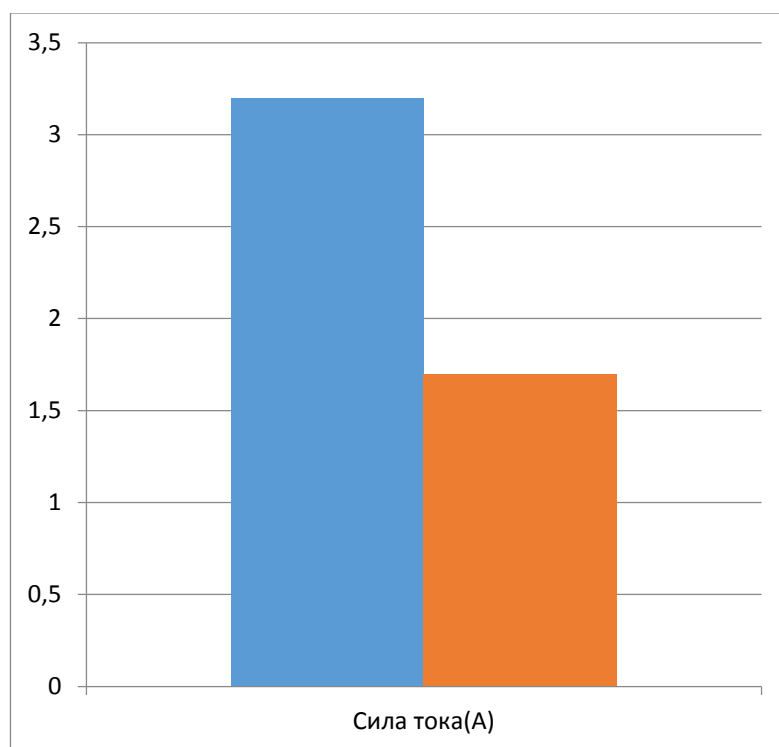


Рисунок 3 – Пределы измерений силы тока подаваемого на электродвигатель

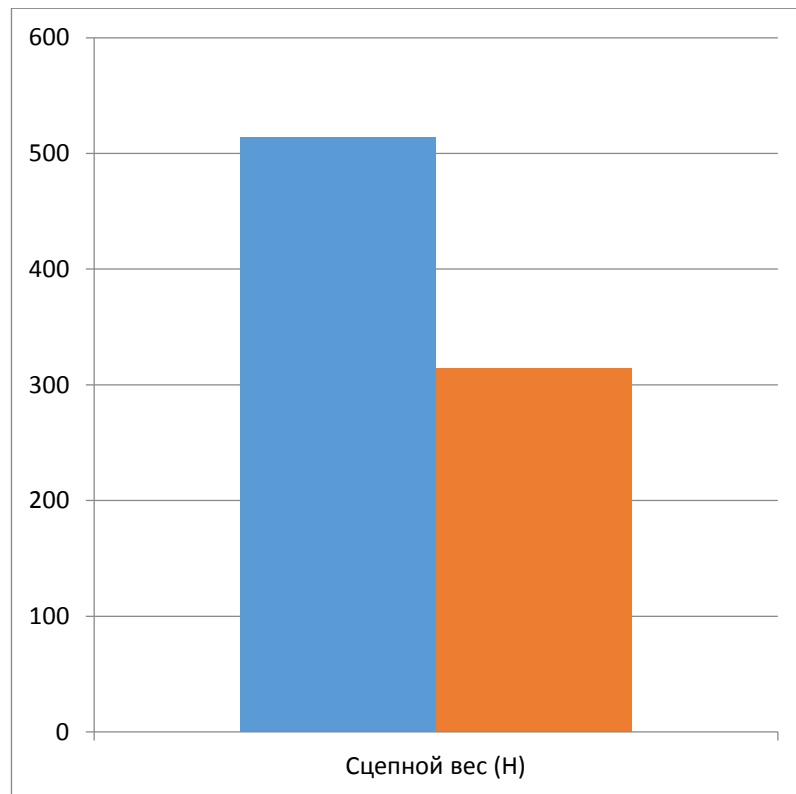


Рисунок 4 – Пределы измерений сцепного веса

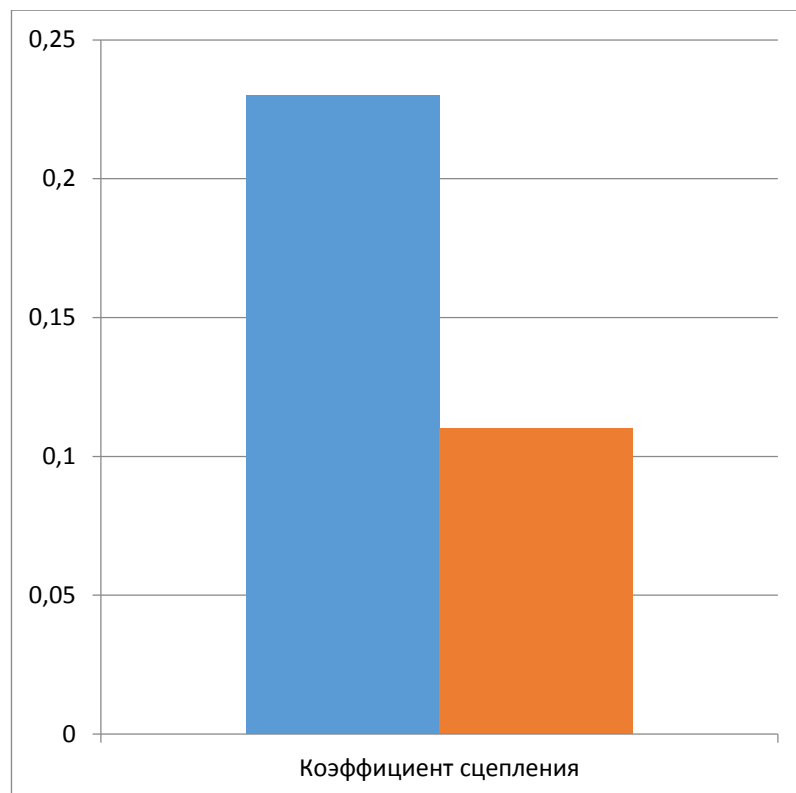


Рисунок 5 – Пределы измерений коэффициента сцепления

2.2. Методика экспериментальных исследований

Целью экспериментальных исследований, является определение разницы, в полученных значениях коэффициента сцепления колес электровоза, с рельсами.

Разница результатов будет достигаться путем увеличения, либо уменьшения частоты вращения колесных пар, путем изменения оборотов электродвигателя, для этих целей в лабораторной транспортной установке, предусмотрен реостат. Также будет изменяться еще один ключевой фактор – сцепной вес электровоза, за чет нагружения специальных грузовых полок, металлическими грузами, вес каждого составляет 2.5 килограмма (25Н), вес самой установки равен 34кг.(340Н) стоит отметить, что для частоты эксперимента, необходимо производить нагружение обеих ведущих осей, равным количеством грузов

Эксперименты необходимо проводить в несколько этапов, при этом поочередно меняя, как частоту вращения колёсных пар, так и сцепной вес. Результатом каждого этапа будет служить показание динамометра в момент пробуксовки приводных колес электровоза.

В ходе экспериментальных замеров, регистрируются следующие параметры:

- Сцепной вес электровоза $P_{сц}(Н)$;
- Сила тяги электровоза $F(Н)$;
- Сила тока электродвигателя $I(А)$;
- Состояние рельсов (сухие, мокрые, смазанные, с песочной подсыпкой).

Порядок проведения экспериментов следующий:

- 1) Проверяем установку на наличие дефектов и повреждений.
- 2) Включаем сетевой кабель в розетку
- 3) Включаем динамометр и выставляем на цифровом индикаторе значение «0» (рисунок 6)
- 4) Включаем подачу тока на электродвигатель тумблером 3 (рисунок 7)

- 5) Выключаем подачу тока на электродвигатель тумблером 3(рисунок 7)
- 6) Фиксируем показания динамометра и амперметра 2(рисунок 6,7) в момент пробуксовки приводных колес.
- 7) Считаем коэффициент сцепления по формуле:

$$\Psi = \frac{F}{P_{\text{сц}}}. \quad (11)$$

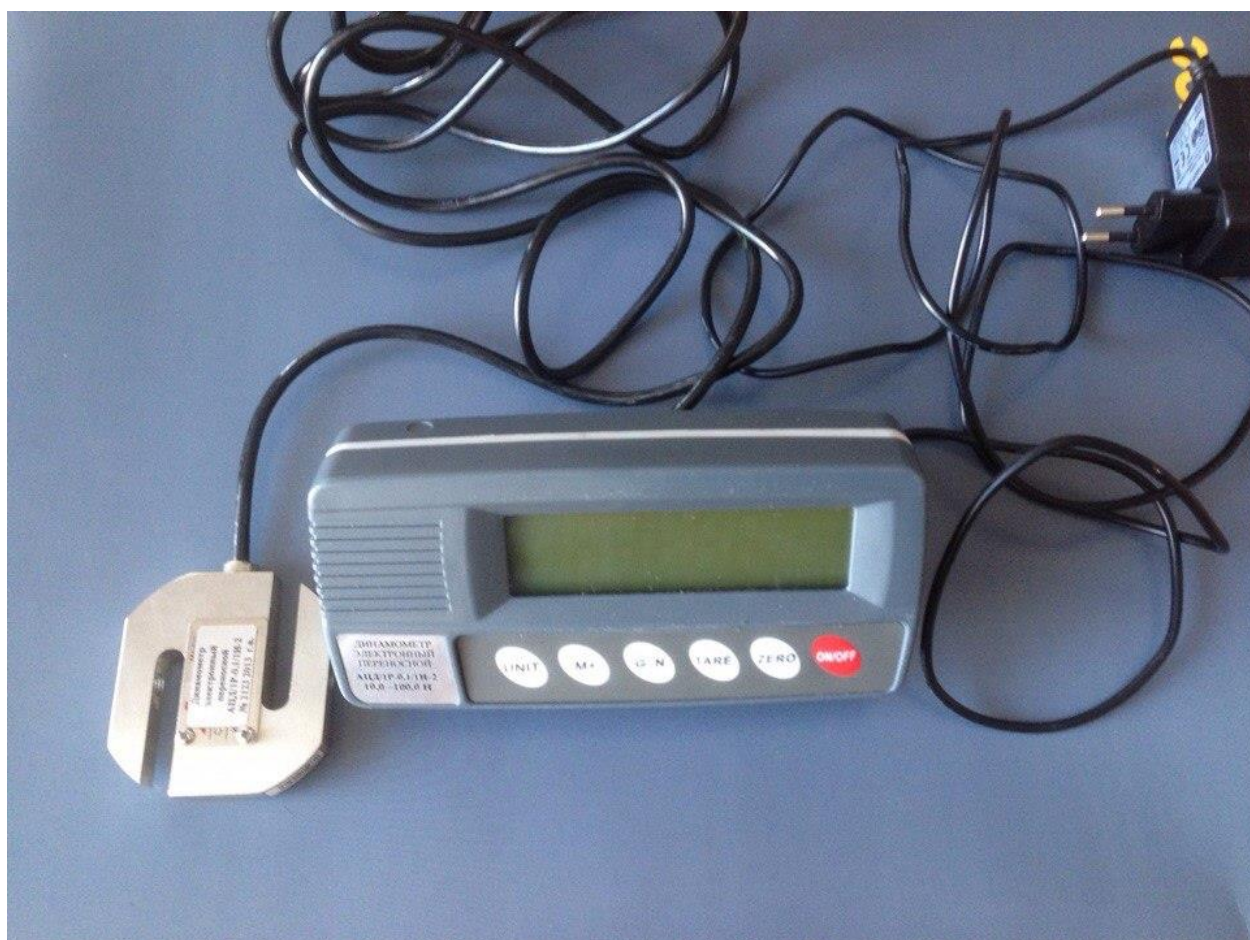


Рисунок 6 – Динамометры электронные на растяжение АЦД/1Р



Рисунок 7 – Пульт управления лабораторной транспортной установкой

Проводим последующие измерения в этом же порядке, при этом меняя необходимые параметры (Сцепной вес, сила тока, состояние рельсов). Для увеличения сцепного веса, приводные валы электровоза нагружаются металлическими грузами (рисунок 8) вес которых равен 25Н, а размеры 45х200мм. В момент нагружения, грузы необходимо укладывать равномерно на

специальные грузовые полки (рисунок 9), которые располагаются возле приводных валов.



Рисунок 8 – Металлические грузы для увеличения сцепного веса электровоза



Рисунок 9 – Грузовая полка электровоза

По результатам экспериментов строится табличная форма (таблицы 1), в которую заносятся все полученные значения.

Таблица 1 –Результаты лабораторных исследований.

№ п/п	Состояние рельсов	Сила тока двигателя I,А	Сцепной вес $P_{сц}$,Н	Сила тяги F,Н	Коэффициент сцепления Ψ	$\Psi_{ср}$
1	Сухие	2	314	46	0,14	0,17
2	Сухие	2,2	364	59	0,16	
3	Сухие	2,3	414	68	0,17	
4	Сухие	2,5	464	75	0,18	
5	Сухие	2,8	514	81	0,20	
6	Мокрые	1,9	314	43	0,13	0,15
7	Мокрые	2,1	364	56	0,15	
8	Мокрые	2,1	414	65	0,16	
9	Мокрые	2,3	464	71	0,16	
10	Мокрые	2,5	514	77	0,17	
11	Смазанные	1,7	314	39	0,12	0,13
12	Смазанные	1,8	364	50	0,13	
13	Смазанные	1,9	414	57	0,14	
14	Смазанные	2,1	464	63	0,14	
15	Смазанные	2,4	514	68	0,13	
16	С песком	2,3	314	53	0,16	0,20
17	С песком	2,5	364	67	0,18	
18	С песком	2,6	414	78	0,19	
19	С песком	2,8	464	96	0,20	
20	С песком	3,2	514	123	0,24	

2.3. Исследование полученных значений

В результате анализа полученных данных строим графики зависимости:

$$F = f(I);$$

$$F = f(P_{\text{сц}});$$

$$\Psi = f(I);$$

$$\Psi = f(P_{\text{сц}});$$

$$\Psi = f(F).$$

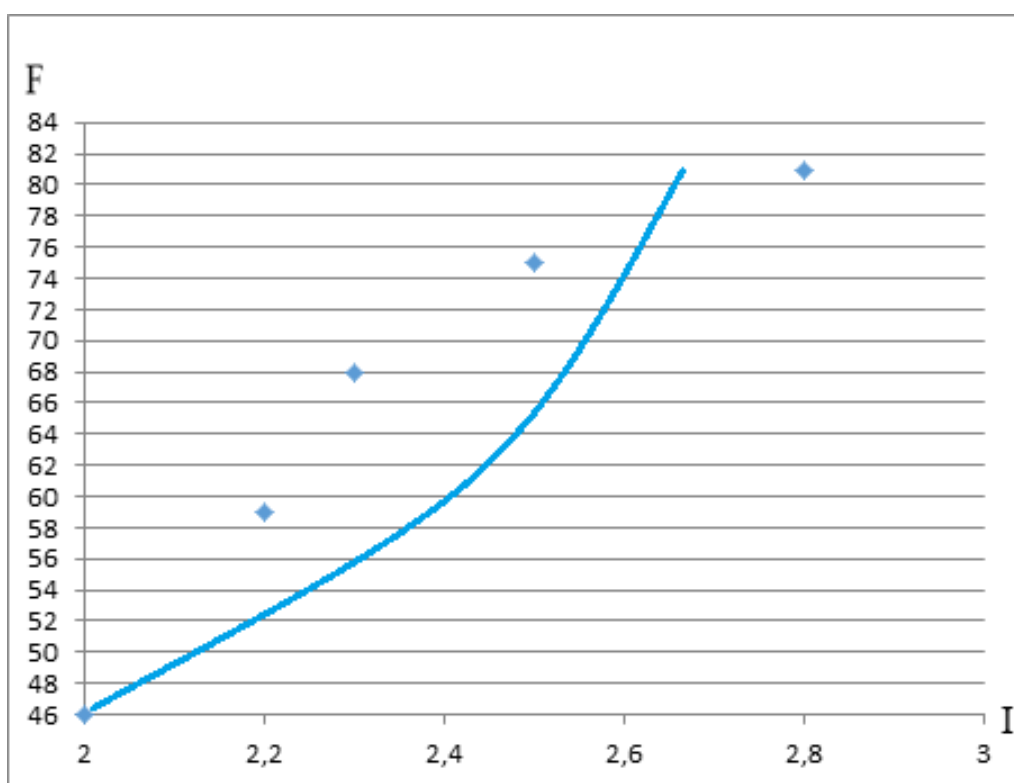


Рисунок 10 – График зависимости силы тяги электровоза от силы тока $F = f(I)$

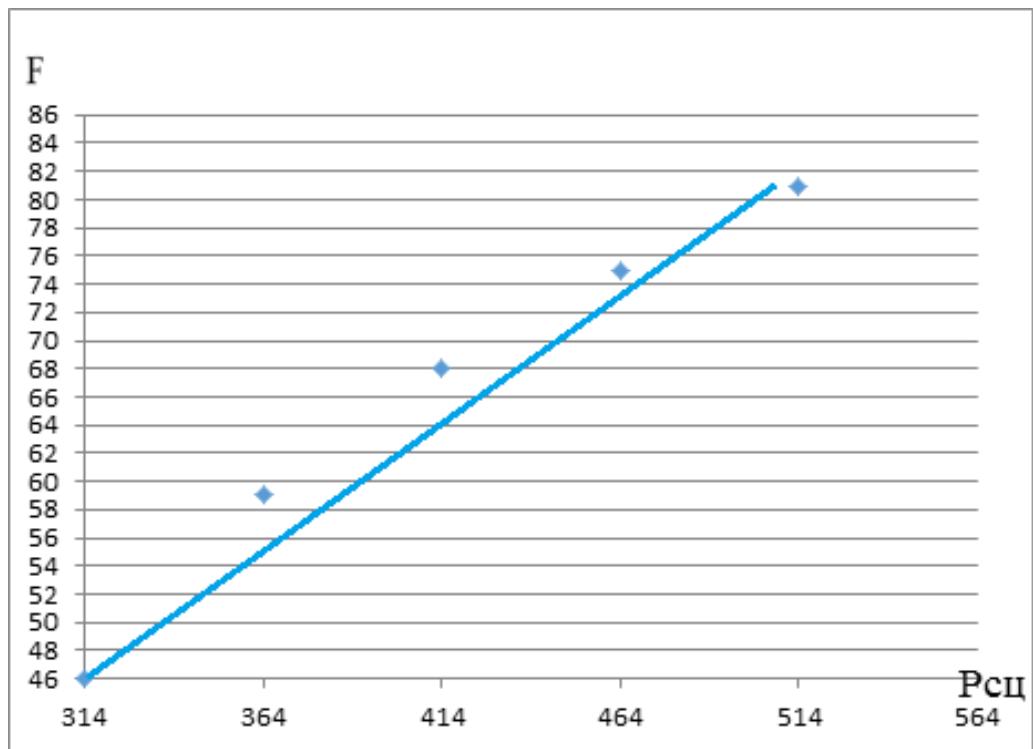


Рисунок 11 – График зависимости силы тяги электровоза от сцепного веса $F = f(P_{сц})$

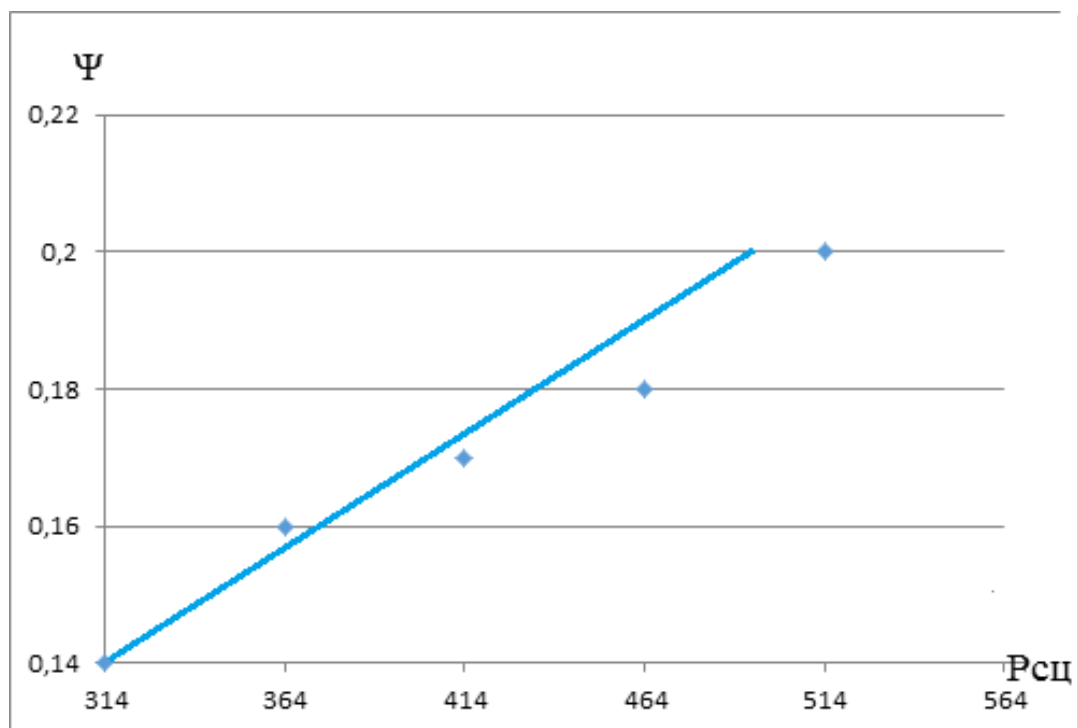


Рисунок 12 – График зависимости коэффициента сцепления приводных колес электровоза с рельсами от сцепного веса $\Psi = f(P_{сц})$

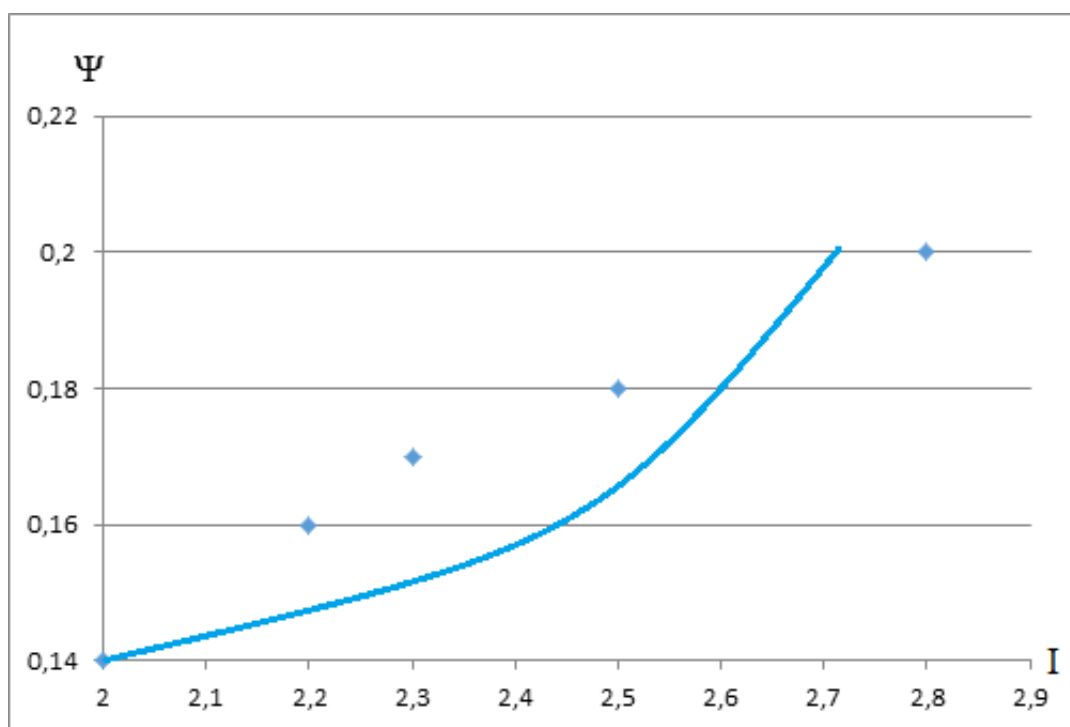


Рисунок 13 – График зависимости коэффициента сцепления приводных колес электровоза с рельсами от силы тока $\Psi = f(I)$

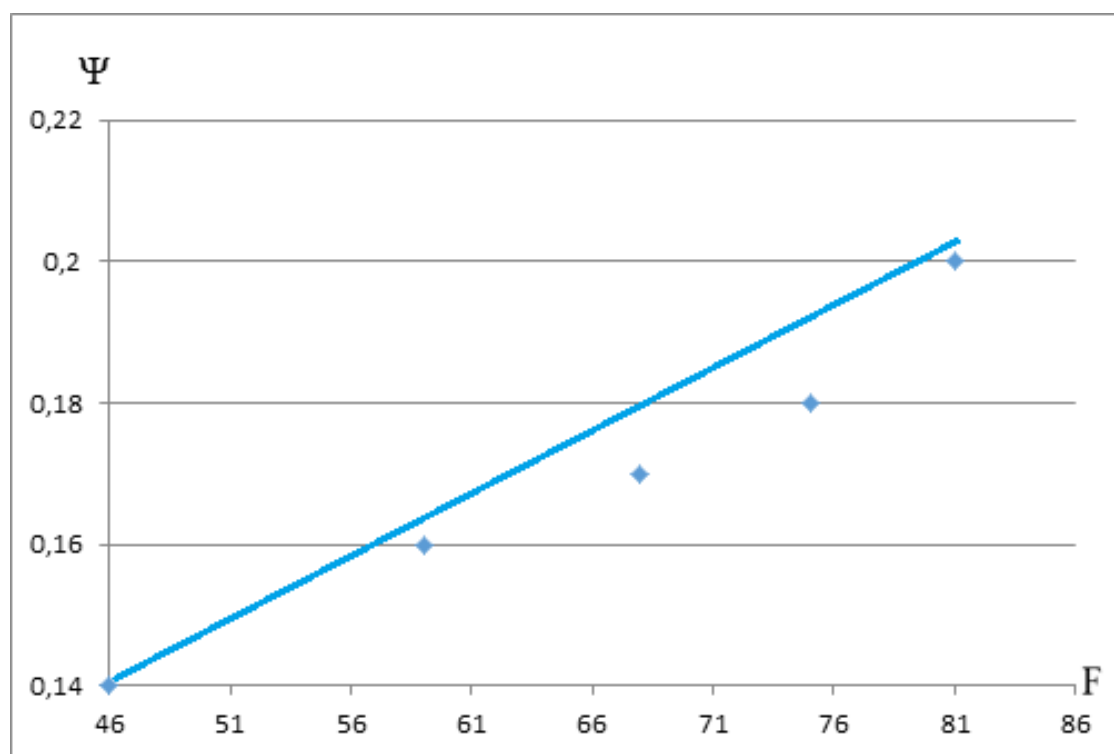


Рисунок 14 – График зависимости коэффициента сцепления приводных колес электровоза с рельсами от силы тяги $\Psi = f(F)$

По полученным результатам можно сказать следующее – наибольшее значение коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами можно добиться путем изменения схемы подключения электродвигателей с последовательной на параллельную, а так же путем изменения состояния рельсов. В нашем случае разница измерений достигалась за счет второго способа.

Опираясь на проведенные эксперименты можно подытожить – наибольший коэффициент сцепления приводных колес локомотива с рельсами достигается за счет использования песка в зоне контакта приводных колес локомотива с рельсами, в то же время наименьший показатель коэффициента сцепления можно наблюдать в случае со смазанными рельсами.

Данный стенд рационально использовать в учебном процессе, для проведения лабораторной работы по определению коэффициента сцепления приводных колес с рельсами, студентам Института Горного Дела Геологии и Геотехнологий (ИГДГиГ) Сибирского Федерального Института (СФУ)

Лабораторный стенд находится в лабораторном корпусе ИГДГиГ СФУ, на кафедре «Горные Машины и Комплексы» 252 аудитория.

3. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Лабораторный стенд располагается в лаборатории кафедры «Горные Машины и Комплексы» Института Горного Дела Геологии и Геотехнологий Сибирского федерального университета.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 23 мая 2002г. № 399 «О нормативных актах, содержащих государственные нормативные требования охраны труда» к нормативным актам относятся инструкции по охране.

Порядок разработки, согласования, утверждения и учета инструкций по охране установлен - Постановлением Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 80 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке государственных нормативных требований охраны труда».

В соответствии со статьей 212 Трудового Кодекса Российской Федерации ректор университета обязан обеспечить разработку и утверждение инструкций по охране труда здоровья обучающихся с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ для принятия локальных нормативных актов.

На основании положения по охране труда университета организация разработки инструкций для учебных кабинетов, лабораторий возлагается на руководителей структурных подразделений университета. Непосредственными составителями инструкций являются заведующие кабинетами и лабораториями.

Общие требования охраны труда:

1. Настоящая инструкция устанавливает требования, обязательные для исполнения студентами в учебно-научной лаборатории (далее -лаборатории).

2. Нарушения (невыполнение, ненадлежащее выполнение или уклонение от выполнения) требований данной инструкции, в зависимости от наступивших последствий, влечет уголовную, административную, дисциплинарную или иную ответственность в соответствии с действующим законодательством РФ.

3. К работе в лабораториях кафедры допускаются студенты прошедшие инструктаж по охране труда и пожарной безопасности.

4. В лаборатории запрещается курить, принимать пищу и напитки.

5. Запрещается работать в лаборатории в отсутствие преподавателя или лаборанта, а также выполнять в лаборатории экспериментальные работы, не связанные с выполнением учебного практикума.

6. Во время работы в лаборатории необходимо соблюдать чистоту, тишину и порядок. При всех работах необходимо соблюдать максимальную осторожность, помня, что неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами могут повлечь за собой несчастный случай.

7. Запрещается подключать неизвестные приборы к лабораторным розеткам.

8. Запрещается переносить, передвигать включенную установку.

9. Все вопросы по выполнению эксперимента, возникающие в процессе работы, следует немедленно выяснить у преподавателя.

10. Возможные опасности при работе в лаборатории:

- поражение электрическим током;
- травмирование при нарушении правил безопасности при работе с приборами и оборудованием.

Требования охраны труда перед началом работы

1. Студент должен быть информирован о содержании предстоящей работы и знать ее методические особенности по учебному практикуму.

2. Ознакомиться с настоящей инструкцией и расписаться в журнале по технике безопасности.

3. Работа в лаборатории должна производиться исключительно на исправном стенде.

3. Приступать к выполнению работы студенты могут только с разрешения преподавателя и в его присутствии.

4. Студентам запрещается доступ к распределительным щитам и установкам, не относящимся к выполняемой ими работе.

5. До начала работы все ее участники должны на месте подробно ознакомиться со схемой лабораторной установки, обратив особое внимание на место расположения выключателя со стороны питающей сети. Особое внимание обращать на цепи возбуждения двигателя постоянного тока.

Требования охраны труда во время работы

1. Включение напряжения производить только после проверки экспериментального стенда преподавателем и с его разрешения, при этом необходимо лично убедиться в отсутствии деформаций и повреждений узлов и агрегатов экспериментальной установки.

2. Если по ходу работы экспериментальную установку требуется неоднократно включать или выключать, то эти операции должен производить один человек.

3. Во время работы запрещается снимать кузов локомотива, прикасаться к силовым проводам, а так же касаться подвижных элементов конструкции.

4. Запрещается работать в шарфах, косынках (на плечах), с распущенными волосами.

5. Не оставлять включенную установку без присмотра.

6. Нагружение экспериментальной установки разрешается проводить только при выключенном электродвигателе.

Требования охраны труда в аварийных ситуациях

1. О любом несчастном случае пострадавший или очевидцы обязаны незамедлительно сообщить руководителю.

2. При возникновении несчастного случая преподаватель или лаборант обязаны принять меры по предотвращению воздействия травмирующего фактора на потерпевшего и оказать первую помощь либо обратиться в здравпункт, либо вызвать «Скорую помощь» (вызов со стационарного телефона – 03; с сотового телефона – 112), либо доставить потерпевшего в организацию здравоохранения.

3. При обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) немедленно сообщить преподавателю (лаборанту) и следовать его указаниям.

Требования охраны труда по окончании работы

1. По окончании работы необходимо отключить все источники питания.

2. Снять средства индивидуальной защиты (если есть).

3. После выполнения работы студенты должны прибрать свое рабочее место и сдать лаборанту.

В соответствии с действующими санитарными нормами все кабинеты и лаборатории университета оборудованы освещением, отоплением и вентиляцией. Каждый кабинет и лаборатория укомплектованы санитарной аптечкой и средствами пожаротушения (АПС, огнетушители марки ОП-4Г).

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Данная работа была выполнена с использованием сетевой модели, именно это позволило рационально распределить время по видам работ и выполнить выпускную дипломную работу в установленный учебным графиком срок.

За основу сетевого планирования и управления (СПУ) была взята сетевая модель – графическое изображение, которое получило название сетевого графика.

Целью применения СПУ является разработка оптимального или довольно приближенному к нему варианта выполнения работ, обеспечивающего рациональное распределение выполняемых работ по времени, наиболее грамотное использование необходимых ресурсов, а также эффективное управление процессом реализации заданного плана.

К элементам сетевого графика, построенного в виде работа-стрелка, относятся: работа, событие, путь.

Работа (операция) - является основным элементом сетевого графика. Различают следующие виды работ: действительная работа, работа-ожидание и фиктивная работа.

Действительная работа - это трудовой процесс, в котором участвуют люди, используются машины, потребляются материально - технические и денежные ресурсы (устройство перемишек, изготовление экспериментального стенда, монтаж узлов металлоконструкций и т.д.). Она изображается в виде сплошной стрелки; над стрелкой указывается наименование (содержание) работы, а под стрелкой - продолжительность выполнения работы в выбранных временных единицах. Выбор единицы измерения продолжительности работы зависит от уровня руководства, которому предназначен сетевой график. Так, например - в проекте организации занимающейся строительством, в качестве единицы измерения времени принимаются месяц или квартал, в проектах производства работ - дни, недели, месяцы; при планировании работы

комплексных бригад - смены, часы. Продолжительности выполнения всех работ в одном сетевом графике должны быть определены в одних единицах. Предполагается, что время протекает в направлении, указанном стрелкой: окончание стрелки - начало, а острие - окончание работы.

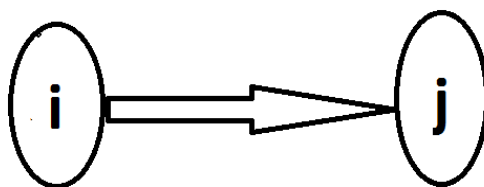


Рисунок 15 – Изготовление экспериментальной установки

Работа - стрелка соединяет два события: i - предшествующее и j - последующее. Пара номеров событий образуют код (шифр) работы. Первым читается номер события, стоящего в окончании стрелки, и вторым - у острия. Как было сказано выше, расчеты сетевых графиков и решение различных задач на их основе производятся на ЭВМ, при этом машина распознает виды работ только лишь по их коду. Продолжительность работы обозначается кодом - t_{ij} .

Ожидание - работа, для выполнения которой исключительно лишь время, никакие иные ресурсы при этом не расходуются (затвердение бетона, наполнение водохранилища). Работа - ожидание изображается так же, как и действительная работа.

Фиктивная работа - вспомогательный элемент сетевого графика, позволяющий сделать график более удобным для восприятия, правильно уделить внимание на организационные и технологические связи между выполняемыми работами. Фиктивная работа не потребляет никаких ресурсов и продолжительность ее равна нулю. Обозначается она пунктирной стрелкой.

Событие - это факт окончания одной работы и начала другой. Событие чаще всего отображается кружком, в котором указывается номер.

Событие не связано с использованием ресурсов и продолжительность его равна нулю. Считается, что работа выходит из одного события и входит в

другое.

Различаются начальные и конечные события. Конечное событие так - же могут называть целью. По количеству конечных событий различают одно- и многоцелевые сетевые графики.

Путь - это последовательность работ в сетевом графике, при которой окончание предыдущей работы совпадает с началом последующей.

Для работы или события существует предшествующий путь, ведущий из первоначального события к данному или из начального события к событию, предшествующему данной работе.

Аналогично для работы и события существуют последующие пути, связывающие данное событие с конечным или событие, последующее за данной работой, с конечным.

Полный путь связывает изначальное событие с конечным. Самый продолжительный полный путь называется критическим.

Сетевой график в форме работа - стрелка получил наибольшее распространение, потому - что содержит текстовую информацию (наименования работ, указанных над стрелками) и облегчает восприятие графика человеком.

Для обработки на ЭВМ график должен быть представлен в форме, «понятной» для машины. Наиболее часто используемой является так называемая списочная форма задания сетевого графика.

Каждая строка таблицы включает в себя информацию об одной работе графика. Число строк равно количеству работ в сетевом графике (для сети в форме работа-стрелка включаются и фиктивные работы). В первой колонке записаны изначальные числа кодов работ I , во второй - окончательные числа этих кодов j , в третьей колонке - продолжительность выполнения этих работ t_{ij} .

Число столбцов может быть большим: например, в дополнительном столбце часто указывают число рабочей силы, привлеченной к выполнению работы, количество материально-технических ресурсов, используемых на работе, и т.д.

Все события (вершины) в сетевом графике в форме работа-стрелка необходимо пронумеровать. Предпочтительной является так называемая упорядоченная нумерация, при которой номер вершины, стоящей в начале дуги (в хвосте стрелки), будет меньше номера вершины, стоящей в конце дуги (у острия стрелки), т.е. для любой дуги $i < j$. Наибольшее количество алгоритмов, по которым осуществляются расчеты, напрямую связанные с сетевыми графиками, ориентированы конкретно на упорядоченную нумерацию вершин.

Упорядочение вершин может быть осуществлено самой ЭВМ по специальной программе. При списочном задании сетевого графика упорядочение осуществляется вручную до переноса информации на машинные носители. Для этого часто используется алгоритм, который принято называть способом вычерчивания выходящих дуг. Он заключается в следующем: на графике находится вершина (или вершины), не имеющая входящих дуг; этой вершине (вершинам) присваивается очередной порядковый номер (очередные порядковые номера); вычеркиваются все дуги, выходящие из отмеченной вершины (из отмеченных вершин) и в предположении, что вычеркнутых дуг больше нет, алгоритм начинают с самого начала, пока не будет пронумерована последняя вершина.

Формальные правила построения сетевых графиков являются общими для всех сетевых графиков независимо от того, какие проекты они моделируют; строительство автодороги, разработку экспериментальной установки или организацию учебного процесса в вузе. Придерживание правил позволяет использовать к обработке всех сетевых графиков одни и те же алгоритмы и программы для ЭВМ.

Правило 1 – Ни одна работа в сетевом графике не может начаться прежде, чем будут закончены все без исключения предыдущие ей работы. Следствием этого правила является требование, чтобы в сетевом графике не было циклов.

Правило 2 – В сетевом графике не должно быть двух и более работ, имеющих один и тот же код (это правило называется правилом изображения параллельных работ, то есть таких, которые могут быть выполнены

одновременно). Так как ЭВМ распознает работы только по коду, то она не сможет различить в конкретном случае одну работу от другой. Для верного изображения этого фрагмента нужно ввести два дополнительных события и две фиктивные работы. В форме стрелка-связь фиктивных работ не требуется.

Правило 3 – В сетевой график нельзя включать ни одного события, кроме изначального, не имеющего предшествующих работ.

Правило 4 – В одноцелевом сетевом графике не должно быть ни одного события, кроме конечного, не имеющего последующих работ.

Правило 5 – Правило изображения сложных работ. Сложной может называться работа, выполнение части которой достаточно для начала одной из последующих работ. Для снижения общей продолжительности выполнения проекта сложная работа должна быть разбита на простые, и последующие работы должны начинаться сразу, как только это физически окажется возможным.

Правило 6 – Правило упоминания фиктивных работ. Как уже было сказано ранее, фиктивные работы - это вспомогательный элемент при изображении сетевых графиков в форме работа - стрелка. В некоторых конкретных случаях в сетевой график целесообразно ввести дополнительные фиктивные работы, которые являются избыточными, но при этом позволяют сделать график наиболее наглядным.

Но стоит заметить, что при этом не следует забывать, что увеличение количества фиктивных работ непосредственно увеличит объем работы по подготовке исходных данных для расчета сетевого графика и время расчетов. Таким образом, необходимо стремиться к тому, чтобы не прибегать к введению абсолютно бесполезных фиктивных работ.

Временной характеристикой всего сетевого графика является протяженность критического пути $T_{кр}$. В одноцелевом графике существует, по крайней мере, один критический путь, однако таких путей может быть и множество. Так же может быть, что будут случаи, когда все пути в сетевом графике будут критическими. В многоцелевом сетевом графике минимальное

значение критических путей равняется количеству конечных событий (целей), при этом продолжительность этих путей могут быть разными.

Для каждой работы в сетевом графике различают 6 временных параметров: t_{ij}^{pn} - раннее начало; t_{ij}^{po} - раннее окончание; $t_{ij}^{пн}$ - позднее начало; $t_{ij}^{по}$ - позднее окончание; R_{ij}^n - полный резерв времени; R_{ij}^c - свободный резерв времени.

Ранние начала и ранние окончания находятся в процессе подсчета графика от изначального события к конечному. Раннее окончание работы связано с ее ранним началом зависимостью: $t_{ij}^{po} = t_{ij}^{pn} + t_{ij}$.

где t_{ij} - продолжительность выполнения работы.

Раннее начало работы – есть самый ранний срок, в который работа может начаться. Численно он равен продолжительности самого наибольшего предшествующего данной работе пути. Как бы много ни было этих предшествующих путей им всегда будут принадлежать работы, непосредственно относящиеся к данной.

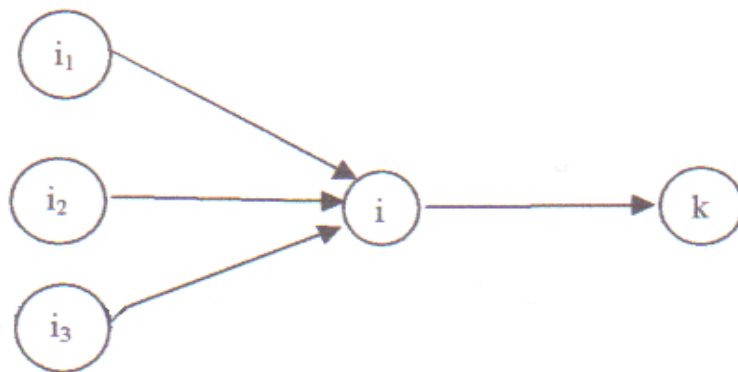


Рисунок 16 - Этап выполнения работ от начального к конечному

Из рисунка и правила построения сетевого графика можно сказать, что:

$$t_{jk}^{pn} = \max\{t_{ij}^{po}\} \quad (12)$$

Вычисления по данной формуле осуществляются шаг за шагом, в направлении от изначального события к конечному.

Поздние начала и поздние окончания находятся в процессе расчета графика «ходом назад» - от конечного события к начальному. Они объединены зависимостью:

$$t_{ij}^{пн} = t_{ij}^{по} - t_{ij} \quad (13)$$

Позднее окончание работы определяет самый поздний срок, в который работа может быть окончена, не увеличивая продолжительности критического пути. Численно позднее окончание работы равняется разности между продолжительностью критического пути и самого наибольшего последующего за данной работой пути. Как бы много ни было таких путей им всегда будут принадлежать работы, непосредственно последующие за данной.

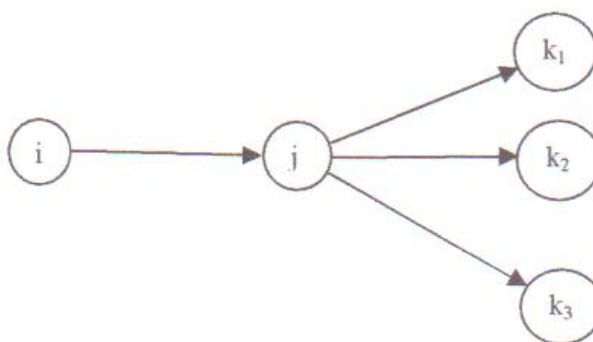


Рисунок 17 – Этап выполнения работ от конечного события к начальному

В соответствии с определением и рисунком следует, что

$$t_{ij}^{по} = \min\{t_{jk}^{пн}\} \quad (14)$$

Как правило, если из постоянной продолжительности критического пути вычитать длины различных по протяженности путей, то минимум разности можно наблюдать тогда, когда будет вычитаться путь максимальной длины.

Вычисления по этой формуле осуществляются шаг за шагом от конечного события к изначальному.

Полный резерв времени работы показывает, на какой промежуток времени возможно сдвинуть сроки исполнения работы правее (в сторону их увеличения), не увеличивая при этом продолжительности критического пути:

$$R_{ij}^n = t_{ij}^{po} - t_{ij}^{po} = (t_{ij}^{nn} + t_{ij}) - (t_{ij}^{pn} + t_{ij}) = t_{ij}^{nn} - t_{ij}^{pn} \quad (15)$$

Если на какой-либо работе был использован весь полный резерв времени, то по крайней мере один из последующих за данной работой путей будет критическим.

Свободный резерв времени показывает промежуток времени, на который можно сдвинуть сроки исполнения работы правее, не меняя ранних начал следующих за ней работ, и вычисляется по следующей формуле:

$$R_{ij}^c = t_{ik}^{pn} - t_{ij}^{po} \quad (16)$$

Так как работы jk , последующие за работой ij , все равно не могут быть начаты раньше, чем это определено их ранним началом t_{ik}^{pn} , то применение свободного резерва на данной работе никак не отражается на сроках выполнения последующих работ.

Между резервами времени, которыми располагают работы, существует соотношение:

$$R_{ij}^n > R_{ij}^c; \quad (17)$$

Кроме того, резервы не отрицательны: $R_{ij}^n > 0$ и $R_{ij}^c > 0$.

Работы, относящиеся к критическому пути, имеют резервы времени, равные нулю, т.е. для них $R_{ij}^n = R_{ij}^c = 0$.

При расчете сетевых графиков в табличной форме применяется списочная форма задания сетевого графика, в котором отображаются цифровые коды ij и продолжительность работ t_{ij} .

Обязательна упорядоченная нумерация событий. Работы заносятся в

список в порядке возрастания первых чисел их кодов I , при этом вначале упоминаются все работы, выходящие из 1-го (изначального) события и имеющие первое число кода 1, затем - все работы, выходящие из 2-го события (начальное число кода - 2); потом из 3-го и т.д. Работы, выходящие из одного события, вносятся в список в порядке увеличения вторых чисел их кодов j . Так, например, если из события 5 выходят работы 5-6, 5-9, 5-8, то в списке они должны быть упомянуты в порядке 5-6, 5-8, 5-9.

При упорядоченной нумерации событий (для всех работ) и передерживании основных правил занесения работ в таблицу для любой работы ij вся необходимая информация о предыдущих работах будет находиться в строках таблицы, находящихся выше той, в которой упомянута информация о данной работе. При этом работы, непосредственно предшествующие данной, с последним числом кода будут иметь i , т.е. первоначальное число кода конкретной работы. Вся информация о работах, последующих за работой ij , будет указана в строках таблицы, находящихся ниже. При этом работы, непосредственно последующие за данной, первым числом кода будут иметь j , т.е. последнее число кода данной работы.

Цель расчета заключается в определении более ранних и конечных сроков исполнения работ, резервов времени, которыми располагают работы, а также в индикации критического пути и определении календарных сроков выполнения работ, например, по их ранним началам.

Расчет ранних сроков выполнения работ осуществляется «ходом вперед», что способствует передвижению в направлении от первой строки к последней. Алгоритм расчета ранних сроков описан ниже:

1) определяются ранние начала работ, следующих из начального события (первым числом кода этих работ является $i = 1$);

2) по формуле находятся ранние окончания тех работ, для которых определены их ранние начала (если найдено раннее окончание последней работы, переходят к п.4);

3) по формуле определяются ранние начала работ, первое число кода

которых равно $i + 1$ (переход к п.2);

4) конец.

Продолжительность критического пути равняется максимальному из чисел 5-го столбца таблицы.

Расчет более поздних сроков выполнения работ происходит «ходом назад». Алгоритм расчета поздних сроков следующий:

1) определяется позднее окончание работ, входящих в последнее событие (последнее число кода этих работ равняется числу событий в графике j), оно равно протяженности критического пути;

2) по формуле рассчитываются поздние начала работ, для которых были найдены их поздние окончания, если определено позднее начало работы, код которой записан в первой строке, переходят к п.4;

3) по формуле рассчитываются поздние окончания работ, последнее число кода которых равно $j - 1$, переход к п.2;

4) конец.

Далее необходимо произвести расчет резервов времени, который можно осуществлять в произвольном порядке. Однако стоит отметить что, наиболее рационально вначале вычислить полные резервы времени и в том случае если они окажутся равными нулю, то для этих работ будет не целесообразно вычисление свободных резервов, так как последние будут равны нулю.

По формуле находятся свободные резервы для оставшихся работ.

Исходные данные для расчета сетевого графика изготовления экспериментальной установки приведены в таблице 7.

Таблица 2 – Перечень работ

Код работы	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность работы, дни
1-2	Изучение литературы	2	Устройство и принцип действия стенда по определению коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами	5
2-3	Составление технического задания	3	Изучены технические характеристики	5
2-12	Изучение литературных источников	12	Составление пояснительной записки	4
3-4	Поиск материалов	4	Материалы выбраны	5
4-5	Создание эскизного проекта	5	Эскиз готов	10
5-6	Закупка материалов	6	Подготовка к использованию материала	5
6-7	Обработка материала	7	Материал готов к использованию	10
7-8	Изготовления узлов	8	Узлы изготовлены	15
8-9	Соединение узлов	9	Узлы собраны	2
9-10	Конструирование установки	10	Конструкция готова	10
10-11	Монтаж и наладка макета	11	Установка готова	2
11 - 12	Окраска макета	11	Окрашен по ГОСТ	2
12-13	Составление пояснительной записки	12	Пояснительная записка готова	10
13 -14	Защита дипломного проекта	14	Диплом защищен	1

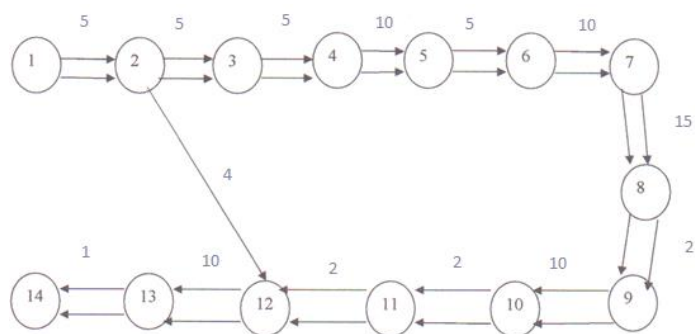


Рисунок 18 – Сетевой график процесса выполнения дипломной работы

Таблица 3 – Расчет параметров сетевого графика табличным методом

Предшествующее событие, i	Последующее событие, j	Продолжительность работы, t_{ij}	Раннее начало работ, $t_{p.n.(ij)}$	Раннее окончание работ, $t_{p.o.(ij)}$	Позднее начало работ, $t_{п.н.(ij)}$	Позднее окончание работ, $t_{п.о.(ij)}$	Полный резерв времени работ, $R_{п.(ij)}$	Частный резерв времени работ, $Ч_{(ij)}$
1	2	5	0	5	0	5	0	0
2	3	5	5	10	5	10	0	0
2	12	4	5	40	5	42	2	35
2	3	5	10	15	10	15	0	0
3	4	5	15	20	15	20	0	0
4	5	10	20	30	21	31	1	10
5	6	2	30	32	31	33	1	2
6	7	2	32	34	32	34	0	0
7	10	2	34	36	36	38	2	2
8	9	2	38	40	38	40	0	0
9	11	2	40	42	40	42	0	0
10	12	2	42	44	42	44	0	0
11	12	2	40	44	44	46	2	4
12	13	10	44	54	44	54	0	0
13	14	1	54	55	54	55	0	0

i - предшествующее событие;
 j - последующее событие;
 t_{ij} - продолжительность работы;
 $t_{p.n(ij)}$ - раннее начало работ;
 $t_{p.o(ij)}$ - раннее окончание работ;
 $t_{n.n(ij)}$ - позднее начало работ;
 $t_{n.o(ij)}$ - позднее окончание работ;
 $R_n(ij)$ - полный резерв времени работ;
 $Ч_{(ij)}$ - частный резерв времени работ.

Для расчета полного и частного резервов времени работ используются следующие формулы:

$$R_n(ij) = t_{n.o(ij)} - t_{p.o(ij)} \quad (18)$$

$$Ч(ij) = t_{p.n(jh)} - t_{p.o(ij)} \quad (19)$$

где $t_{p.n(jh)}$ - раннее начало последующей работы.

Выводы: Сетевой график изготовления стенда, имеет пути:

L_1 : 1 -2- 12-13- 14; $t_{L1} = 51$ дн.

L_2 : 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8- 9- 10 - 11- 12 - 13 - 14; $t_{L2} = 55$ дн.

Критический путь равен 55 дней и не имеет резервов времени.

Для расчета резервов времени событий необходимо определить ранние и поздние сроки наступления событий.

Таблица 4 – Расчет ранних и поздних сроков свершения событий и резервов времени событий

Код событий	t_{pi}	t_{ai}	R_i
1	2	3	4
1	0	0	0
2	5	5	0
3	10	10	0
4	15	15	0
5	20	20	0
6	30	31	1
7	32	33	1
8	34	34	0
9	36	48	2
10	40	40	0
11	42	42	0
12	44	46	2
13	54	54	0
14	55	55	0

Себестоимость продукции - это стоимостная оценка используемых в процессе производства продукции природных ресурсов, сырья, материалов, топлива, энергии, основных фондов, трудовых ресурсов, а также других затрат на её производство и реализацию. Состав себестоимости регламентируется Постановлением Правительства РФ №552 от 05.08.92 г. с учетом изменений и дополнений №661 от 01.07 95 г. и главой 25 Налогового кодекса РФ:

- Материальные затраты (за вычетом стоимости возвратных отходов);
- Затраты на оплату труда (все виды оплаты труда и другие выплаты);
- Отчисления на социальные нужды;
- Амортизация основных фондов;
- Прочие денежные затраты.

Таблица 5 – Расчет стоимости материалов, необходимых для изготовления стенда

Наименование материалов	Количество	Цена, руб	Сумма, руб
Уголки, м	10	150	1500
Профиль металлический, м	6	150	900
Металл (лист 2мм) м ²	1	400	400
Металл (лист 1мм) м ²	1	270	270
Вал, шт	3	300	900
Колеса,шт.	4	100	400
Мерный груз, шт	8	50	400
Краска, кг	1	300	300
Цепь, шт	1	350	350
Звездочки, шт	5	100	500
Двигатель, шт	1	1000	1000
Подшипники, шт	2	80	160
Вольтметр, шт	1	400	400
Амперметр, шт	1	400	400
Тумблер, шт	2	50	100
Регулятор мощности, шт	1	200	200
Провод, м	1	100	100
Итого:	49	4 250	8 280

Расчет расходов на оплату труда исполнителю, занятому изготовлением лабораторного стенда, руководителю дипломной работы, консультантам по экономике и БЖД.

Исполнитель - тарифная ставка - 8 000 рублей в месяц;

Районный коэффициент - 30%;

Северная надбавка - 30%;

Месячный оклад 8 700 рублей $\times 30\% \times 30\% = 13\,920$ рублей

Продолжительность выполнения работ - 2 календарных месяца.

$13\,920$ рублей $\times 2$ месяца = $27\,840$ рублей

Руководитель – доцент к.т.н.

Тарифная ставка: 16 разряд 197 руб\час.

Продолжительность консультаций - 20 часов.

197 рублей х 20 часов = 3940 рублей.

Консультации по экономики: доцент к. х. н.

Тарифная ставка: 13 разряд 150 руб\час.

Продолжительность консультаций - 5 часов.

150 рублей х 5 часов = 750 рублей.

Консультации по БЖД: доцент к. т. н.

Тарифная ставка: 13 разряд 150 руб\час

Продолжительность консультаций - 5 часов.

150 рублей х 5 часов = 750 рублей.

Таблица 6 – Смета затрат на изготовление стенда.

Элементы	Сумма, руб
Материалы	8280
Оплата труда исполнителя	27 840
Оплата труда руководителя	3940
Оплата труда консультанта по экономике	750
Оплата труда консультанта по БЖД	750
Единый Социальный Налог - 26,2 %	12 367
АМОРТИЗАЦИОННЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ	1 000
Итого	52 927
НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ -15%	8 239
Всего	61 166

Вывод: Разработана сетевая модель выполнения работы. Критический путь составляет 55 дней, что свидетельствует о выполнении работы в установленный учебным графиком срок. Составлена смета затрат на выполнение работы, равная 61 166 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломной работы проведен анализ методик экспериментальных испытаний колеса локомотива с рельсом. По результатам которого была разработана методика, включающая в себя: планирование экспериментов и серию опытов с различными состояниями рельсов и анализ результатов, которые были получены с помощью измерительно-регистрируемой аппаратуры.

Разработанная методика позволила получить экспериментальное значение силы тока, силы тяги, сцепного веса и коэффициента сцепления приводных колес локомотива с рельсами для различных условий их эксплуатации.

По полученным данным построены графики зависимости:

$$F = f(I);$$

$$F = f(P_{\text{сц}});$$

$$\Psi = f(I);$$

$$\Psi = f(P_{\text{сц}});$$

$$\Psi = f(F).$$

Разработана сетевая модель выполнения работы. Критический путь составляет 55 дней, что свидетельствует о выполнении работы в установленный учебным графиком срок. Составлена смета затрат на выполнение работы, равная 61 166 рублей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Плютов Ю.А. История техники в горном деле. Москва, 2017.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы. — М.: Транспорт, 1985. 287 с.
3. <http://lokomotiv.ru>[Электронный ресурс]Режим доступа-
<http://lokomotiv.ru/podvizhnoy-sostav/sila-tyagi-i-tyagovye-harakteristiki-lokomotivov-4.html>
4. Астахов П. Н. «Соппротивление движению железнодорожного подвижного состава» Труды ЦНИИ МПС. Выпуск 311. — Москва: Транспорт, 1966. — 178 с.
5. Деев В. В., Ильин Г. А., Афонин Г. С. «Тяга поездов» Учебное пособие. — Москва: Транспорт, 1987. — 264 с.
- 6.Правила тяговых расчётов для поездной работы. — М.: Транспорт, 1985. 287 с.
7. Зиновьев В. А. Краткий технический справочник. Том 1. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. — С. 296
8. Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. — Минск: Изд-во БГУ, 1982. — 302 с
9. Ермаков С. М. Математическая теория планирования эксперимента. — М: Наука, 1983. — 392 с.
- 10.Безопасность жизнедеятельности в дипломном проектировании: метод. Указания для студентов всех специальностей очной и заочной форм обучения / сост. Э.В. Богданова, В.А. Гронь, Л.С. Максименко, А.Г. Степанов; ГУЦМиЗ. — Красноярск, 2005. — 36с.
- 11.Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для бакалавров / С. В. Белов. — 4-е изд., перераб. и доп.— Москва: Изд-во Юрайт; ИД Юрайт, 2013. — 682 с

12. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия/Гл. ред. Н. С. Конарев. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. — 559 с.
13. Большая Советская энциклопедия. Гл. ред. Б. А. Введенский, 2-е изд. Т. 8. Вибрафон — Волово. 1951.

Приложение А